

Capítulo 8: Filtros en microondas

Objetivo: Un filtro de microondas es un dispositivo con una respuesta selectiva en frecuencia, de modo que discrimina señales de microondas en función de su frecuencia. Las respuestas típicas son paso bajo, paso alto, paso banda y banda eliminada.

El desarrollo de los filtros empezó en los años anteriores a la II Guerra Mundial. Todos estos estudios derivaron a principios de los 50 en un voluminoso manual de filtros y acopladores donde se desarrollan todas las técnicas utilizadas en los modernos programas de CAD.

El método más utilizado para el diseño de filtros es el método de las pérdidas por reflexión. En Microondas, los elementos concentrados que proporciona el método anterior son sustituidos por tramos de líneas de transmisión. De esta forma se utilizarán transformaciones (de Richard) e identidades (de Kuroda) que posibilitan la transformación indicada.



ÍNDICE

- Introducción a los filtros.
- Diseño de filtros por el método de las pérdidas de inserción.
- Transformaciones en filtros.
- Implementación de filtros en microondas:
 - Transformación de Richard.
 - Identidades de Kuroda.
 - Inversores de admitancia o impedancia.
- Filtros de impedancia a saltos.
- Filtros con líneas acopladas.

The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a light blue sky with a white cloud and a yellow sun partially visible behind the letters.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



INTRODUCCIÓN A LOS FILTROS

n: dispositivo de dos puertos que presenta un comportamiento selectivo ncia de tal forma que permite el paso de la señal a unas frecuencias (banda de paso) y lo impide a otras (banda eliminada).

s:

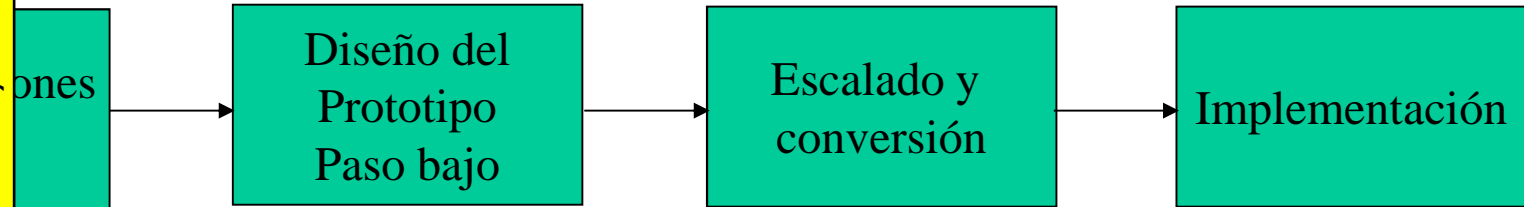
Las de inserción: representa la cantidad de energía que se refleja en cada frecuencia a la entrada del filtro. $RL = -20\log|\Gamma|$

Las de transmisión: representa la cantidad de energía que se pierde en su paso a través de la estructura filtrante. $IL = -20\log|T|$

Características de los filtros en microondas:

Se utiliza tecnología en línea o guía cuya respuesta frecuencial se repite periódicamente.

Proceso de diseño:



O DE FILTROS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS PÉRDIDAS DE INSERCIÓN: PRINCIPIOS

na un gran control sobre las amplitudes de las bandas de paso y eliminada s características de fase. Ejemplos:

as pérdidas de inserción: respuesta binomial (Butterworth).

esta de corte abrupta: respuesta con rizado constante (Chebychev).

esta lineal de fase al precio de sacrificar atenuación.

e define por las pérdidas de inserción (inverso del $|s_{12}|^2$)

$$P_{LR} = \frac{\text{Potencia disponible en la fuente}}{\text{Potencia entregada a la carga}} = \frac{P_{inc}}{P_{load}} = \frac{1}{1 - |\Gamma(\omega)|^2}$$

en $|\Gamma(\omega)|^2$ es par por lo que puede expresarse como el cociente de

$$|\Gamma(\omega)|^2 = \frac{M(\omega^2)}{M(\omega^2) + N(\omega^2)}$$

o en unas pérdidas de:

$$P_{LR} = 1 + \frac{M(\omega^2)}{N(\omega^2)}$$

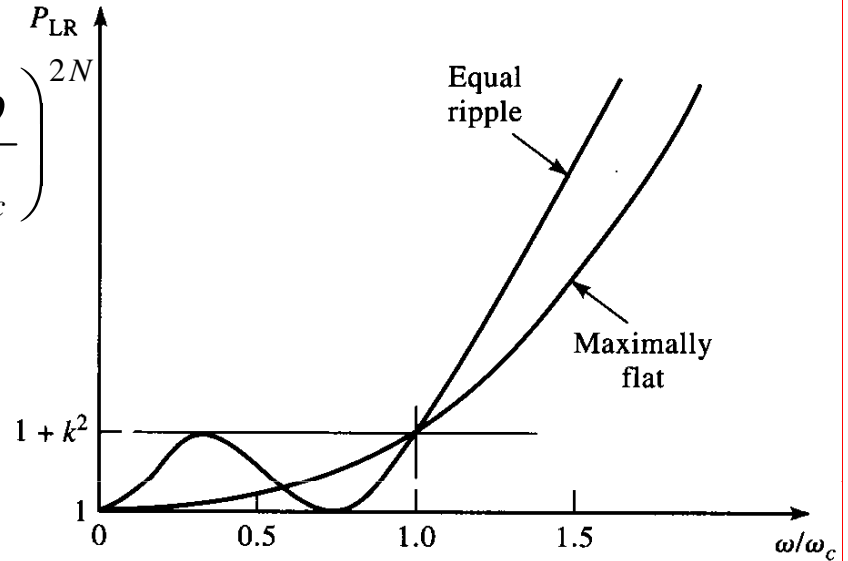
iltros: maximalmente plano, de rizado constante, función elíptica y fase



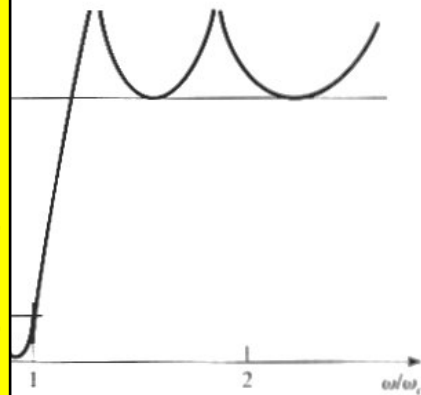
DISEÑO DE FILTROS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS PÉRDIDAS DE INSERCIÓN: TIPOS DE FILTROS

Plano o Butterworth:
Característica binomial.
En la banda $\omega - \omega_c$
3 dB de pérdidas.

$$P_{LR} = 1 + k^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N}$$



En la banda de paso (Chebychev):
Característica muy abrupta.
En la banda de paso (Chebychev):
Característica muy abrupta.
Característica (1+k^2)
Característica de atenuación 20N dB/década



$$P_{LR} = 1 + k^2 T_N^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

Función elíptica.

$$\phi(\omega) = A \omega \left[1 + p \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \right]$$

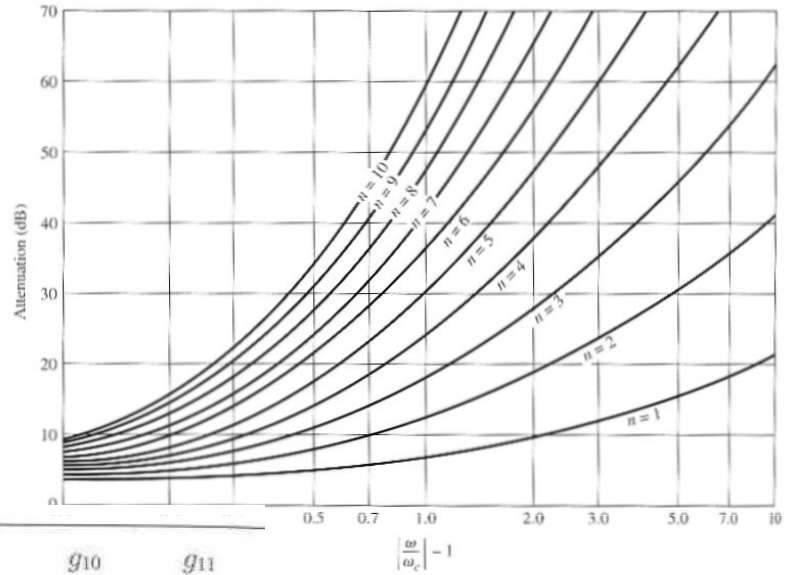
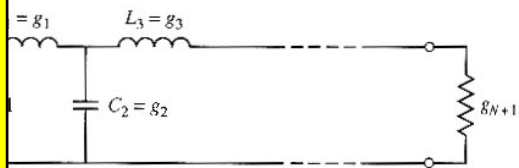
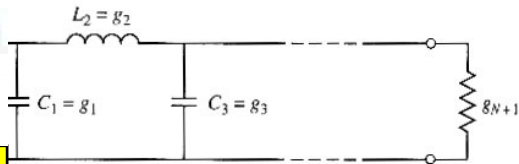
Fase lineal.

$$\tau_d = \frac{d\phi}{d\omega} = A \left[1 + p(2N+1) \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \right]$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROTOTIPO PASO BAJO DE UN FILTRO AXIALMENTE PLANO (BUTTERWORTH)



g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1.0000								
1.0000	1.0000							
1.8478	0.7654	1.0000						
2.0000	1.6180	0.6180	1.0000					
1.9318	1.9318	1.4142	0.5176	1.0000				
1.8019	2.0000	1.8019	1.2470	0.4450	1.0000			
1.6629	1.9615	1.9615	1.6629	1.1111	0.3902	1.0000		
1.5321	1.8794	2.0000	1.8794	1.5321	1.0000	0.3473	1.0000	
1.4142	1.7820	1.9754	1.9754	1.7820	1.4142	0.9080	0.3129	1.0000

from G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching and Coupling Structures* (Dedham, Mass.: Artech House, 1980) with permission.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

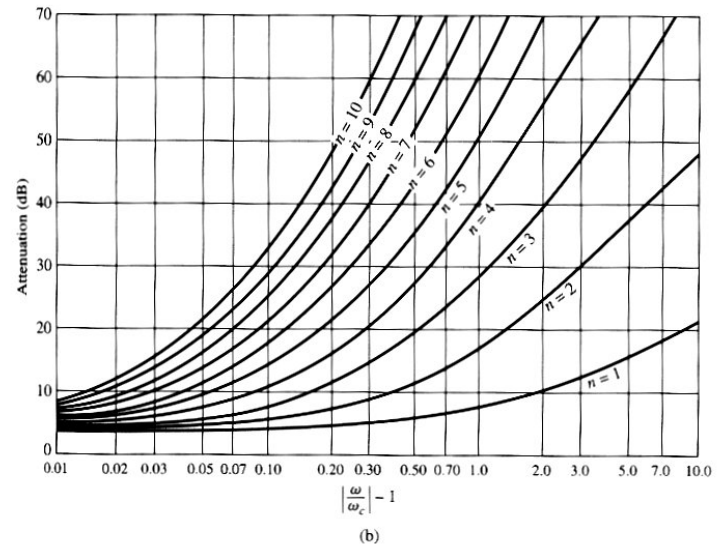
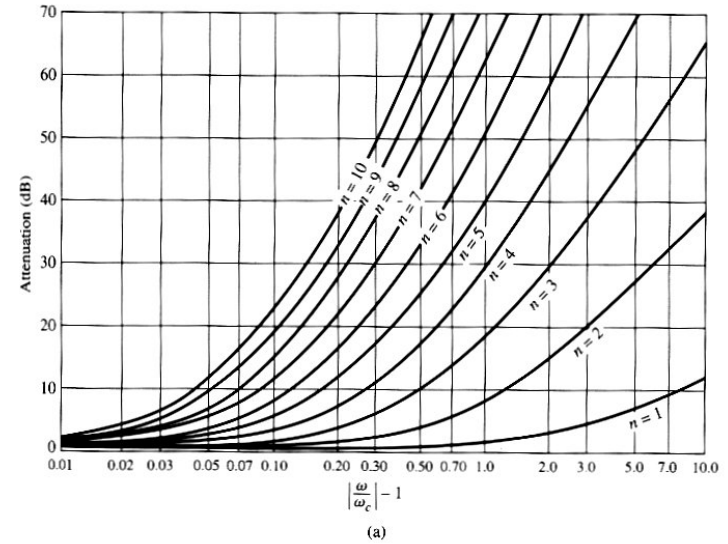
TOTIPO PASO BAJO DE UN FILTRO DE IGUALADO EN LA BANDA DE PASO (CHEBYSHEV)

$$= 1 + k^2 T_N^2(\omega)$$

0.5 dB Ripple											
	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
341											
363	1.0000										
366	0.8419	1.9841									
388	1.2296	1.7058	1.0000								
396	1.3137	2.4758	0.8696	1.9841							
381	1.3444	2.6381	1.2583	1.7372	1.0000						
364	1.3590	2.6964	1.3389	2.5093	0.8796	1.9841					
378	1.3673	2.7239	1.3673	2.6678	1.2690	1.7504	1.0000				
374	1.3725	2.7392	1.3806	2.7231	1.3485	2.5239	0.8842	1.9841			

3.0 dB Ripple											
	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
395											
387	1.0000										
371	0.5920	5.8095									
381	0.7618	3.4817	1.0000								
361	0.7929	4.4641	0.6033	5.8095							
386	0.8039	4.6386	0.7723	3.5182	1.0000						
375	0.8089	4.6990	0.8018	4.4990	0.6073	5.8095					
392	0.8118	4.7272	0.8118	4.6692	0.7760	3.5340	1.0000				
368	0.8136	4.7425	0.8164	4.7260	0.8051	4.5142	0.6091	5.8095			

E. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Structures* (Dedham, Mass.: Artech House, 1980) with permission.



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70



FORMACIÓN DE IMPEDANCIAS Y ESCALADO DE FRECUENCIAS (I)

Formación de impedancias (en admitancias sería el dual)

$$R_0 L \quad C' = \frac{C}{R_0} \quad R_S' = R_0 \quad R_L' = R_0 R_L$$

Formación de impedancias para la frecuencia de corte: escalado para prototipo paso bajo

$$L_k' = \frac{L_k}{\omega_c} \quad C_k' = \frac{C_k}{\omega_c} \quad L_k' = \frac{R_0 L_k}{\omega_c} \quad C_k' = \frac{C_k}{R_0 \omega_c}$$

Formación de impedancias para la frecuencia de corte: escalado para prototipo paso bajo paso alto

$$C_k' = \frac{1}{\omega_c L_k} \quad L_k' = \frac{1}{\omega_c C_k} \quad C_k' = \frac{1}{R_0 \omega_c L_k} \quad L_k' = \frac{R_0}{\omega_c C_k}$$

Transformación

Escalado



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FORMACIÓN DE IMPEDANCIAS Y ESCALADO DE FRECUENCIAS (II)

Formación paso banda paso bajo

$$\omega \leftarrow \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = \frac{1}{\Delta} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$$

Formación banda eliminada paso bajo

$$\omega \leftarrow \Delta \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{-1}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

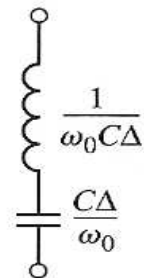
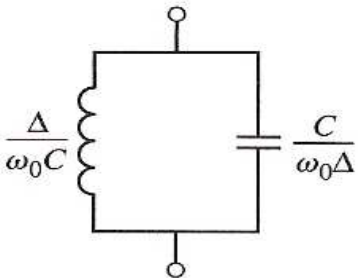
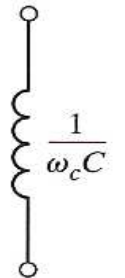
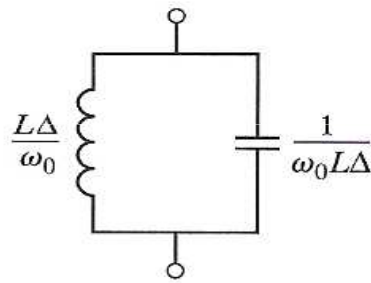
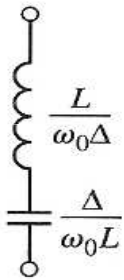
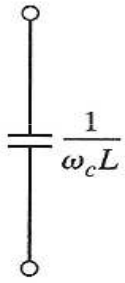
RESUMEN DE TRANSFORMACIONES

$$-\frac{\omega_c}{\omega} \quad \frac{1}{\Delta} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad \Delta \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{-1}$$

High-pass

Bandpass

Bandstop



$$L' = R_0 L$$

$$C' = \frac{C}{R_0}$$

$$R_S' = R_0$$

$$R_L' = R_0 R_L$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (I): TRANSFORMACIÓN DE RICHARD

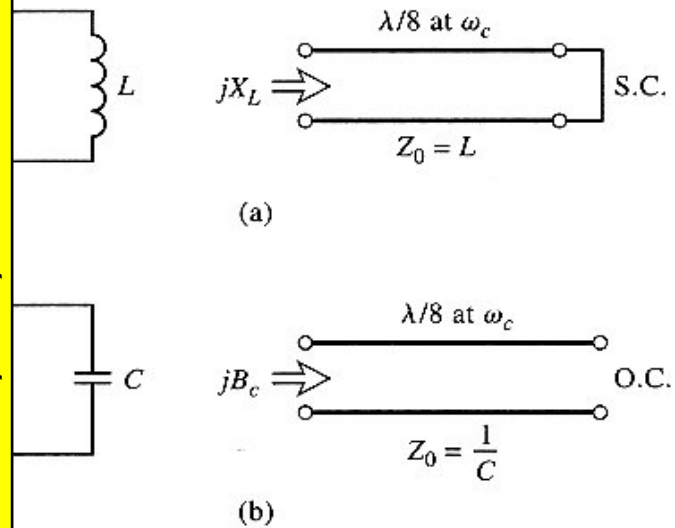
Se basan en la realización con elementos concentrados:
 - Solo están disponibles en un número limitado de frecuencias.
 - Los efectos parásitos son importantes conforme crece la frecuencia.
 - Las distancias y tamaños no son despreciables (comparables a λ).

Existen:

- Transformación de Richard: pasa de elementos concentrados a distribuidos.

- Metodología de Kuroda: separa elementos del filtro mediante uso de líneas

- Transformación de Richard:



$$\Omega = \tan \beta l = \tan \left(\frac{\omega l}{v_p} \right)$$

$$jX_L = j\Omega L = jL \tan \beta l$$

$$jB_C = j\Omega C = jC \tan \beta l$$

$$\Omega = 1 = \tan \beta l$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA

Identidades de Kuroda
Relaciones de línea para:

1. Eliminar los stubs.

2. Convertir stubs serie en

3. y viceversa.

4. Convertir impedancias difíciles

5. en

6. en tramos de líneas

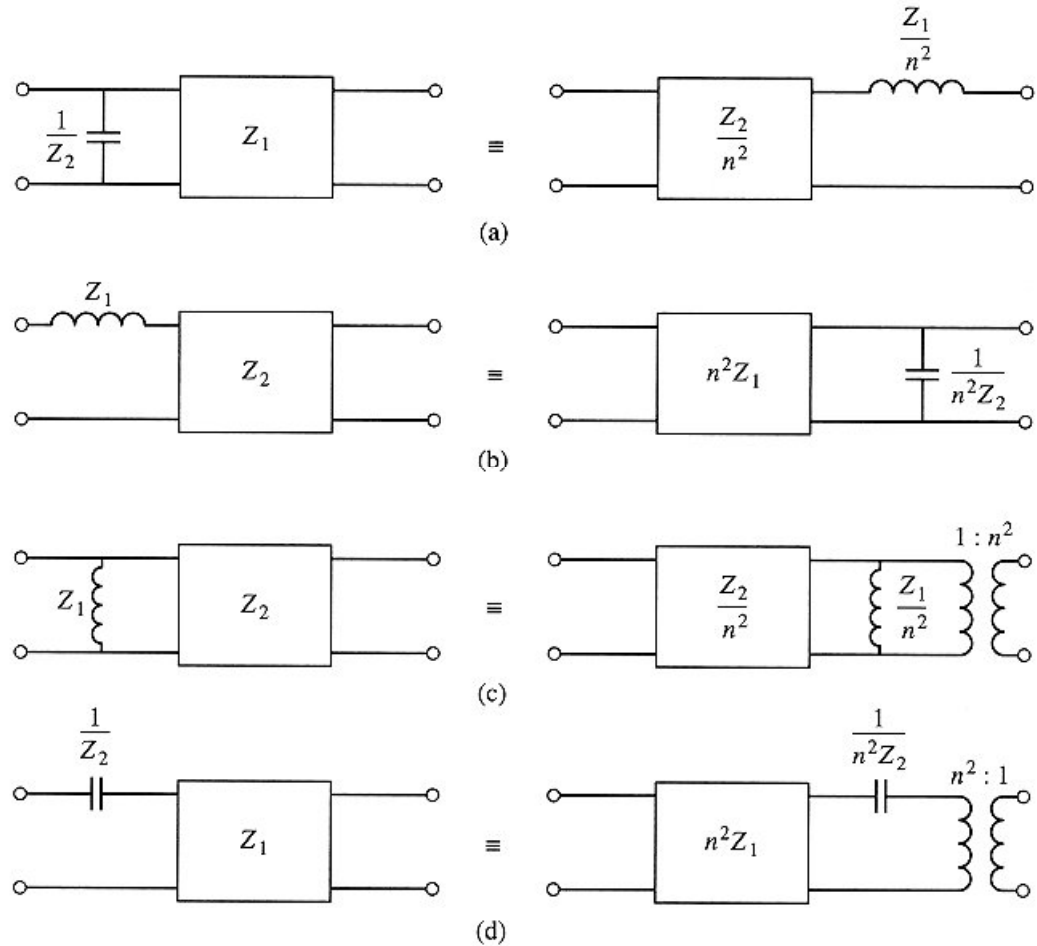
7. 8. Convertir elementos unitarios

9. en tramos de líneas

10. 11. Convertir impedancias difíciles

12. en tramos de líneas

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



where $n^2 = 1 + Z_2/Z_1$



IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz

impedancia de carga $R=50 \Omega$

IB

$Z_7=L_1$

$Z_7=C_2$

$Z_7=L_1$

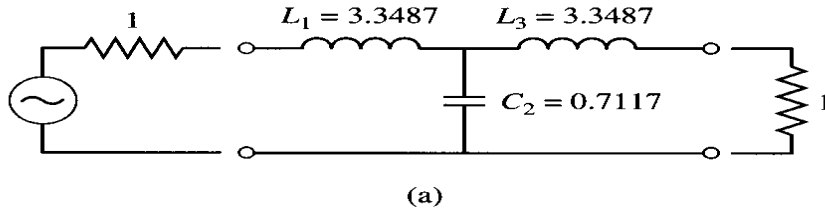
R_L

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz
impedancia de carga $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo

IB

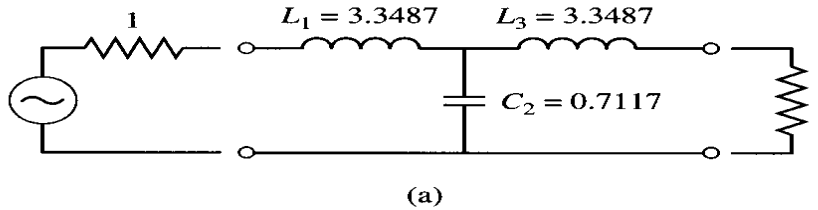
$Z_1 = L_1$
 $Z_2 = C_2$
 $Z_3 = L_1$
 $Z_L = R_L$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

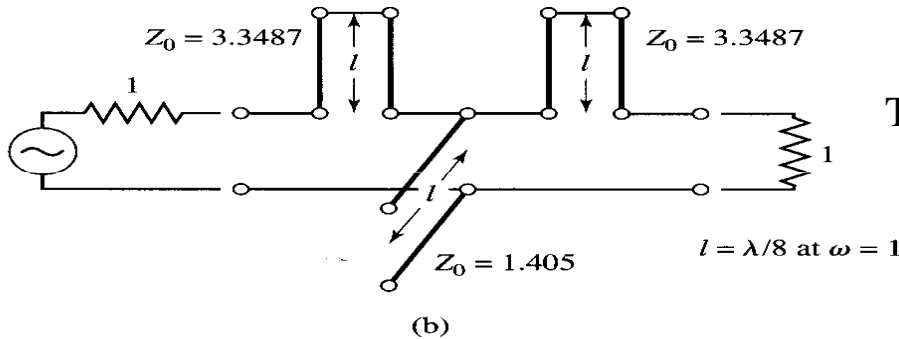
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz
impedancia de carga $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo



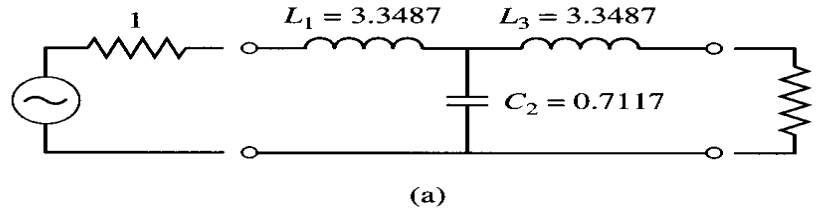
Transformación
de Richard

$l = L_1$
 $l = C_2$
 $l = L_1$
 R_L

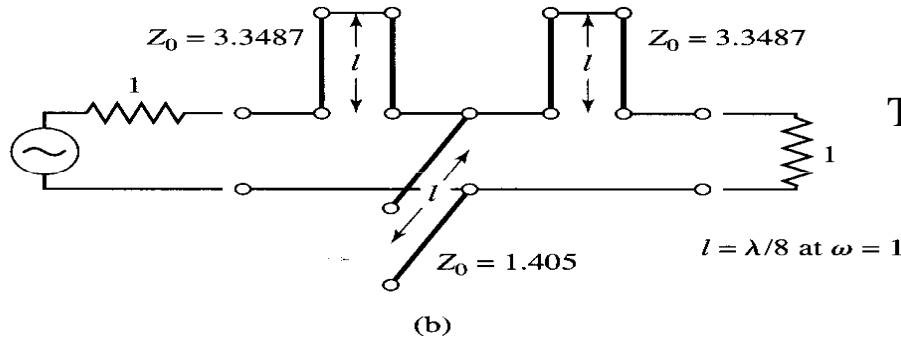
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

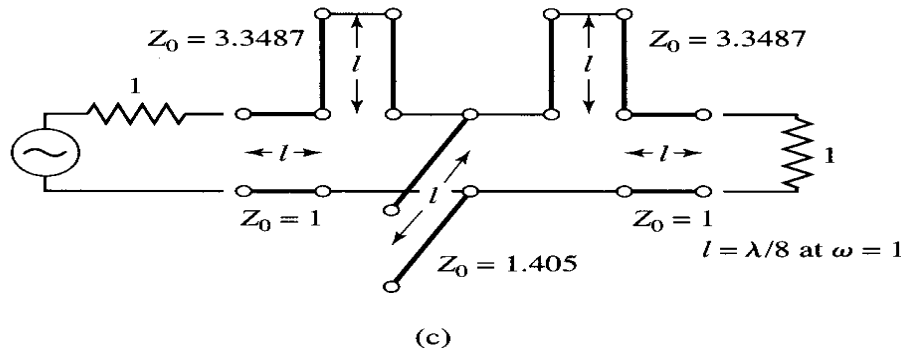
frecuencia de corte: 4GHz
impedancia de carga $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo

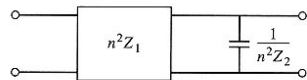


Transformación
de Richard



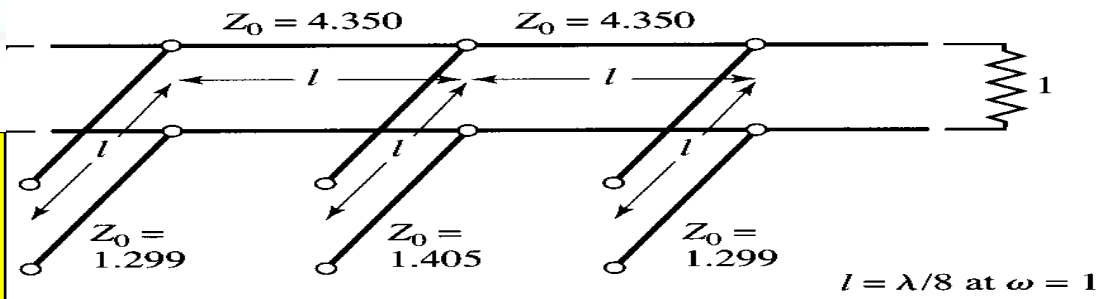
Identidades
de Kuroda (1)

$l = L_1$
 $l = C_2$
 $l = L_1$
 R_L

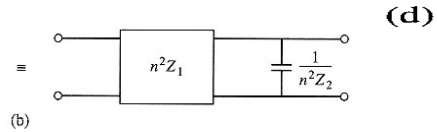


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



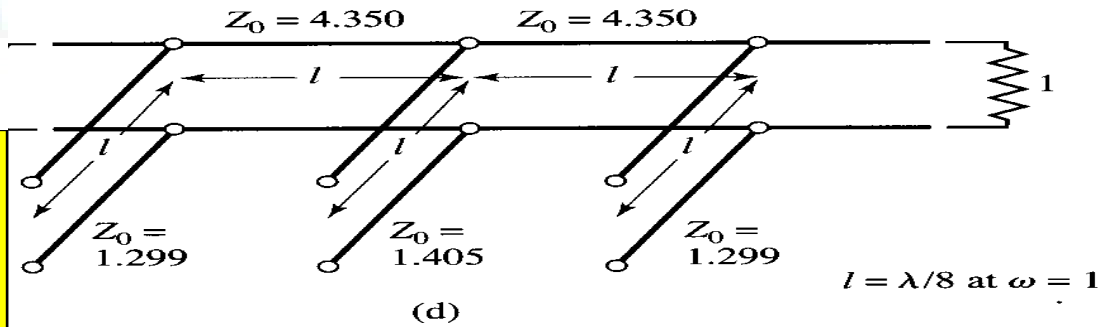
Identidades
de Kuroda (2)



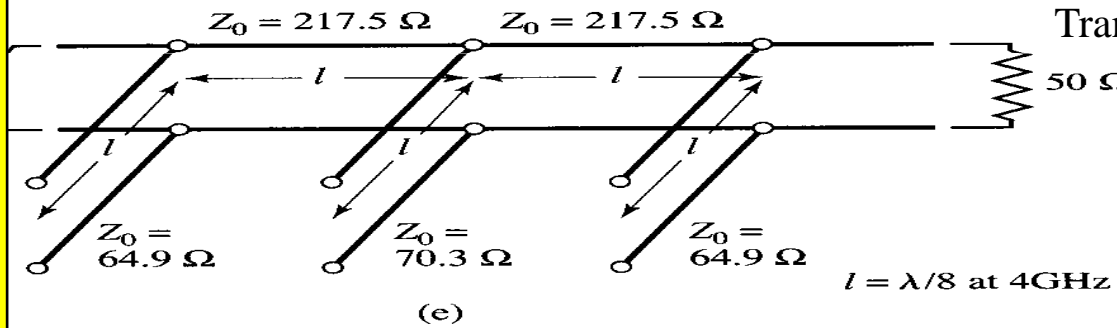
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



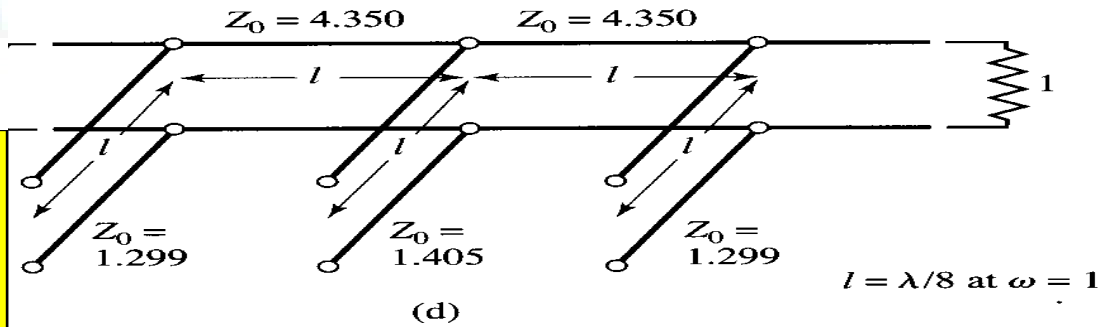
Identidades
de Kuroda (2)



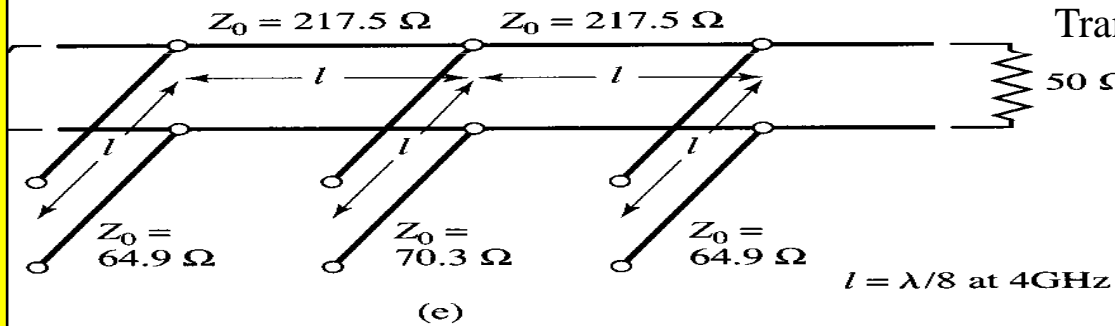
Transformación de impedancia
y
escalado en frecuencia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

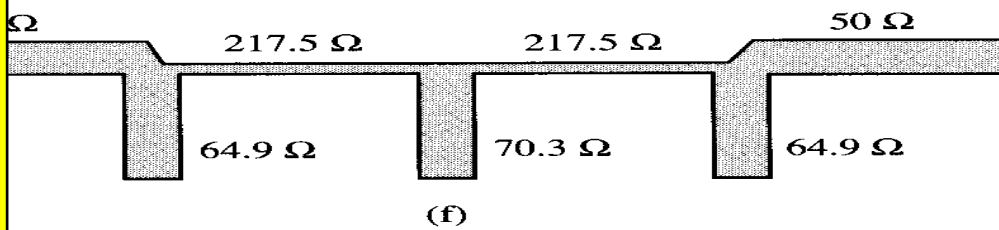
IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



Identidades
de Kuroda (2)



Transformación de impedancia
y
escalado en frecuencia



Paso a tecnología
microstrip

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE IMPEDANCIA A SALTOS (I)

funciones alternas de alta y baja impedancia.

se aplica a aplicaciones donde la frecuencia de corte no sea muy abrupta.

Z de una sección elemental de línea de transmisión

$$Z_{22} = \frac{A}{C} = -jZ_0 \cot \beta l \qquad Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{C} = -jZ_0 \csc \beta l$$

serie y elemento paralelo

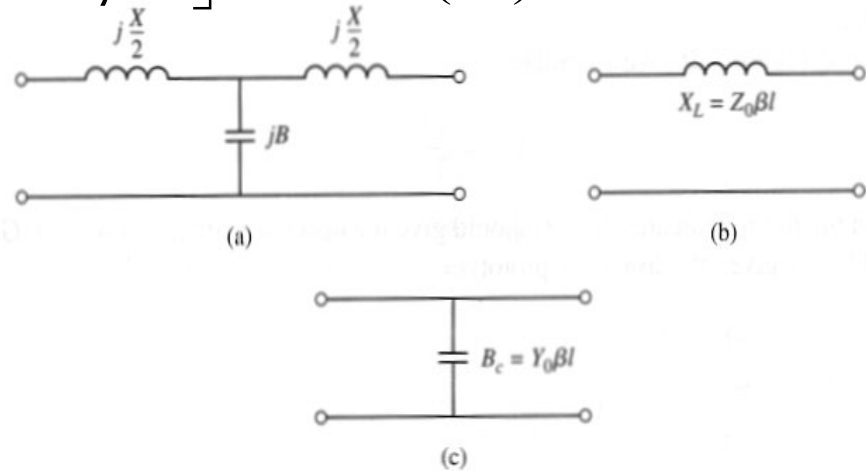
$$Z_{11} - Z_{12} = -jZ_0 \left[\frac{\cos \beta l - 1}{\sin \beta l} \right] = jZ_0 \tan \left(\frac{\beta l}{2} \right)$$

para ángulos pequeños ($\beta l < \pi/4$)

$$X \cong Z_0 \beta l \qquad B \cong 0$$

$$B \cong Y_0 \beta l \qquad X \cong 0$$

$$\tan \left(\frac{\beta l}{2} \right) \qquad B = \frac{1}{Z_0} \sin \beta l$$



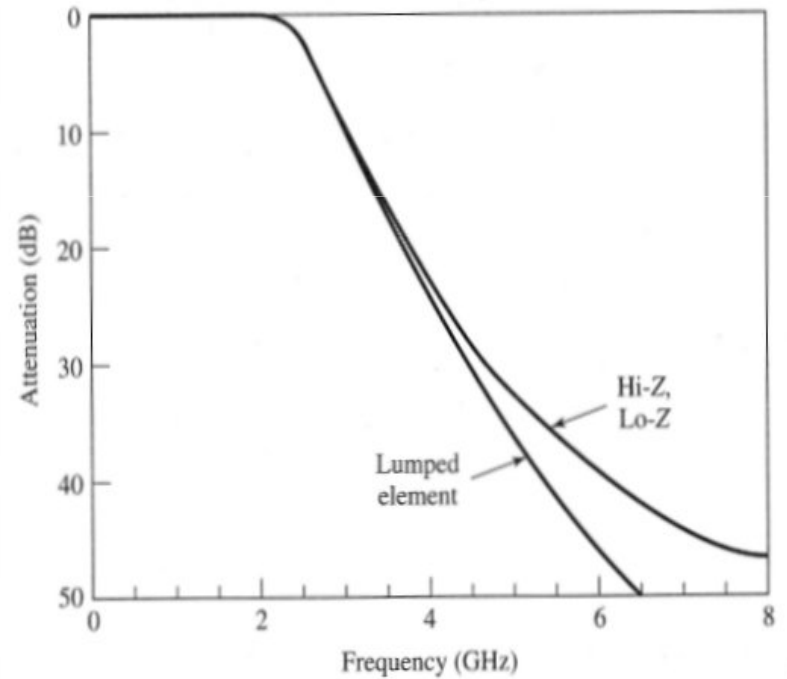
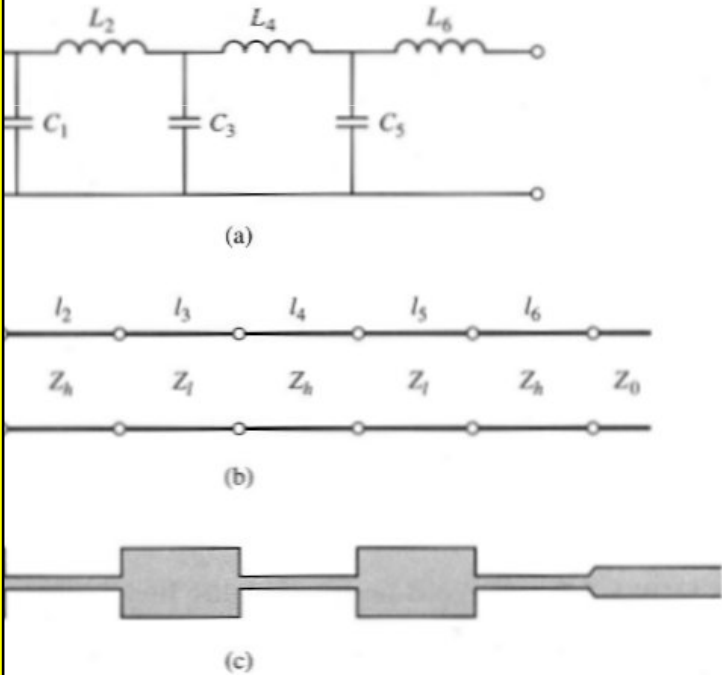
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ROS DE IMPEDANCIA A SALTOS (II): EJEMPLO

$$= \frac{L_i R_0}{Z_h} \quad C \Rightarrow \beta l_i = \frac{C_i Z_l}{R_0}$$

$$\beta l_i < \frac{\pi}{4} \text{ rad} = 45^\circ$$

$$\beta l_1 = g_1 \frac{Z_\ell}{R_0} = 5.9^\circ,$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

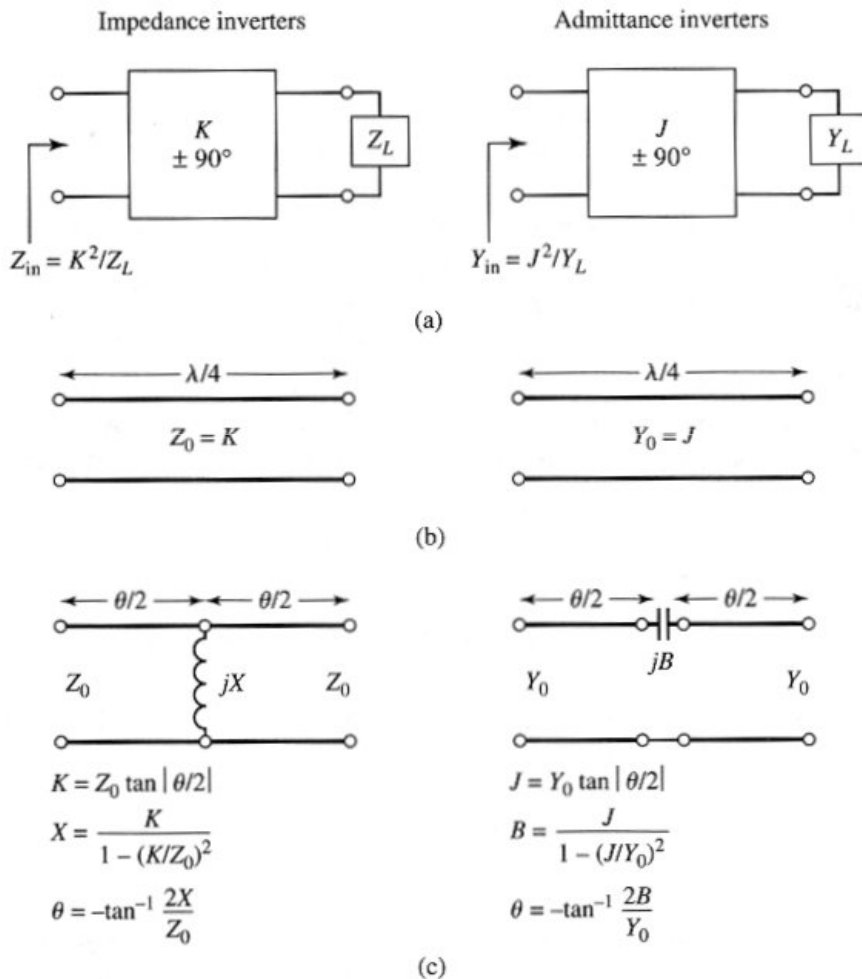


OS DE IMPEDANCIA A SALTOS (II): EJERCICIO

- Filtro Paso Baja (*Stepped Impedance*)
- Frecuencia de corte: $f_c=2\text{GHz}$
- Impedancia de carga $R_0=50\ \Omega$
- Butterworth
- Orden $N=5$
- $Z_1=10\ \Omega$ y $Z_h=150\ \Omega$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (IV): INVERSORES DE IMPEDANCIA/ADMITANCIA



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (I)

modos par-impar (excitaciones en minúsculas, excitaciones en mayúsculas).

análisis:

Excitación en modo par-impar.

Impedancia par-impar

Distribución de impedancias de entrada en modo par-impar.

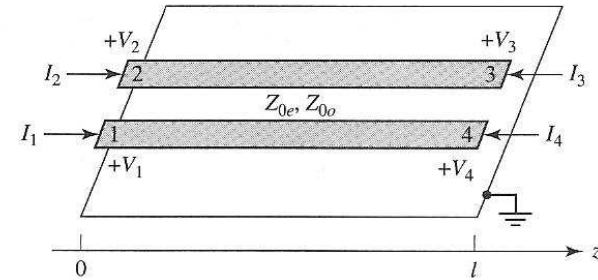
Obtención de la matriz de parámetros Z de la red de cuatro puertos original.

Reducción de la red de dos puertos mediante algún terminal

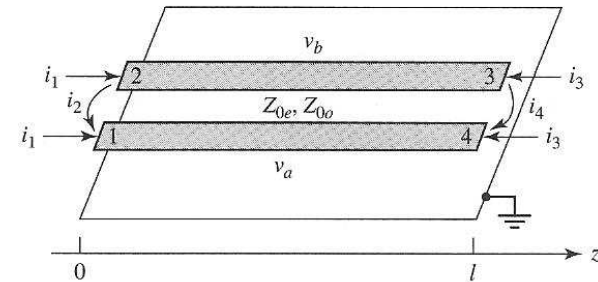
Reducción por circuito abierto o corto de dos terminales da características filtrantes de topologías canónicas.

Excitación en modo par-impar, tres paso banda.

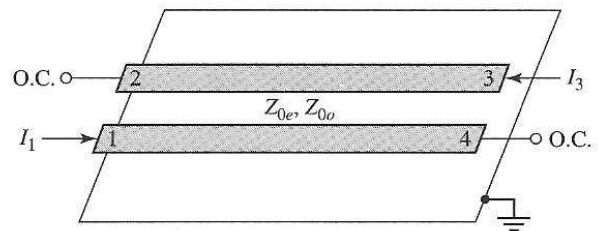
Excitación en modo par-impar, sólo una sin cortocircuitos a masa.



(a)

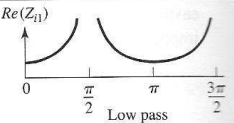
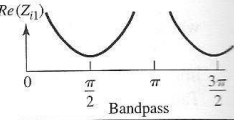
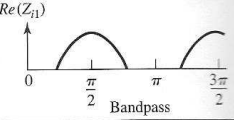
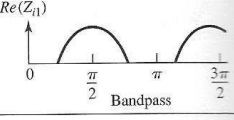


(b)



(c)

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (II): TOPOLOGÍAS CANÓNICAS

Image Impedance	Response
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o} \cos \theta}{\sqrt{(Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta - (Z_{0e} - Z_{0o})^2}}$	 Low pass
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o} \sin \theta}{\sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}$	 Bandpass
$\frac{\sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}{2 \sin \theta}$	 Bandpass
$\frac{\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}{(Z_{0e} + Z_{0o}) \sin \theta}$	 Bandpass
$\frac{Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{i1}}$	
$\frac{Z_{0e} + Z_{0o}}{2}$	All pass
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}}$	All pass
$\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}$	All pass
$-j \frac{2Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \cot \theta$	All stop
$\frac{Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{i1}}$	
$j \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \tan \theta$	All stop
$-j \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \cot \theta$	All stop

- Cálculo de la impedancia imagen en cada puerto.

$$Z_i = \sqrt{Z_{11}^2 - Z_{13}^2}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 \cdot \csc^2 \theta - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cdot \cot^2 \theta}$$

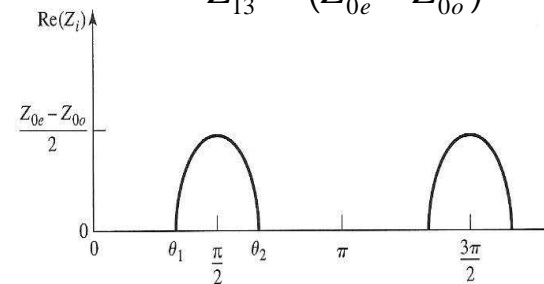
- Secciones de línea de longitud $\lambda/4$

$$Z_i = \frac{1}{2} (Z_{0e} - Z_{0o}) \quad (\text{ec.1})$$

que es real y positivo dado que la impedancia par es mayor que la impar.

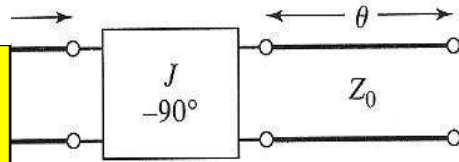
- La constante de fase vale:

$$\cos \beta = \frac{Z_{11}}{Z_{13}} = \frac{(Z_{0e} + Z_{0o})}{(Z_{0e} - Z_{0o})} \cos \theta \quad (\text{ec.2})$$



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): PROCESO DE DISEÑO

Identificación de dos secciones de línea acoplada.



Identificación de una sección de línea acoplada con impedancia $1/J$.

$$\begin{bmatrix} \left(JZ_0^2 \sin^2 \theta - \frac{\cos^2 \theta}{J} \right) \sin \theta \cos \theta \\ \left(JZ_0^2 \sin^2 \theta - J \cos^2 \theta \right) \left(JZ_0 + \frac{1}{JZ_0} \right) \sin \theta \cos \theta \end{bmatrix}$$

Identificación de la impedancia imagen.

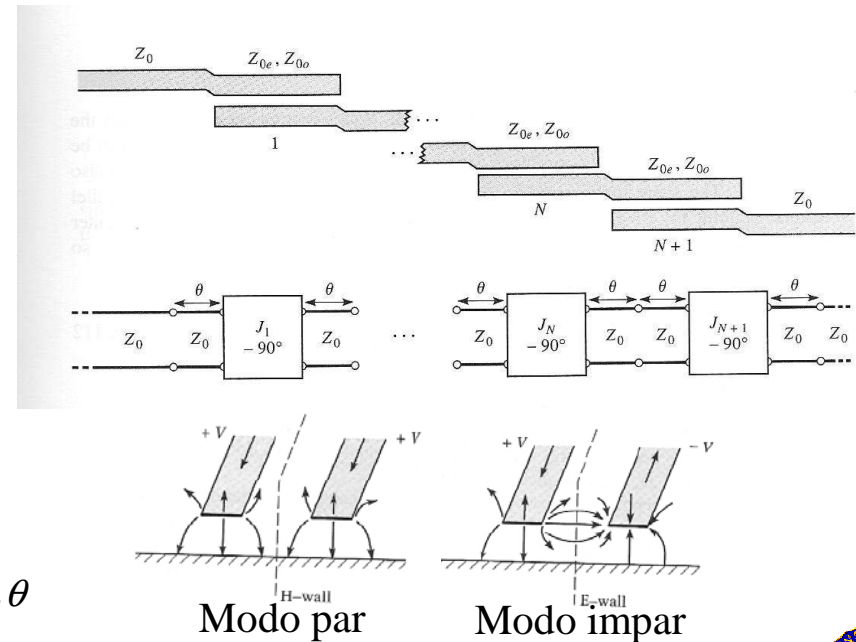
$$\cos \beta = A = \left(JZ_0 + \frac{1}{JZ_0} \right) \sin \theta \cos \theta = JZ_0^2 \sin^2 \theta - \frac{\cos^2 \theta}{J}$$

Identificación de las ecuaciones 1 y 2 con las expresiones de la impedancia imagen y constante de fase.

$$Z_{0e} = Z_0 \cdot \left[1 + JZ_0 + (JZ_0)^2 \right]$$

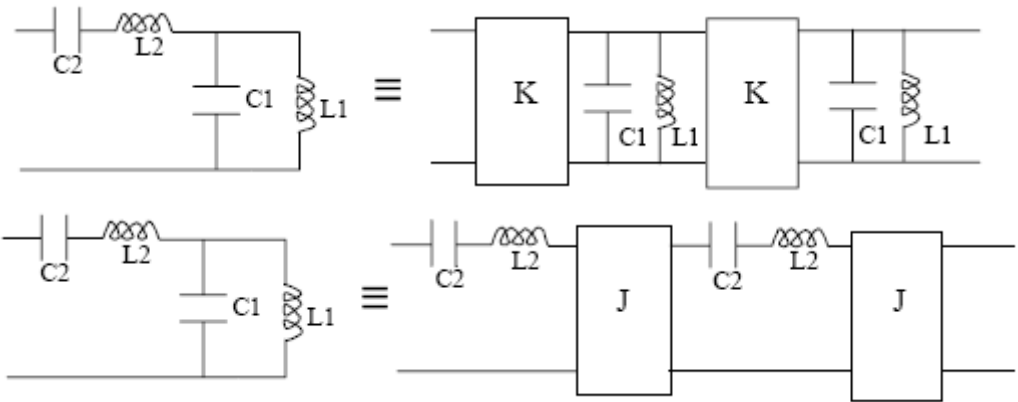
$$Z_{0o} = Z_0 \cdot \left[1 - JZ_0 + (JZ_0)^2 \right]$$

N+1 secciones equivalen a un filtro de orden N.



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS



Cartagena99

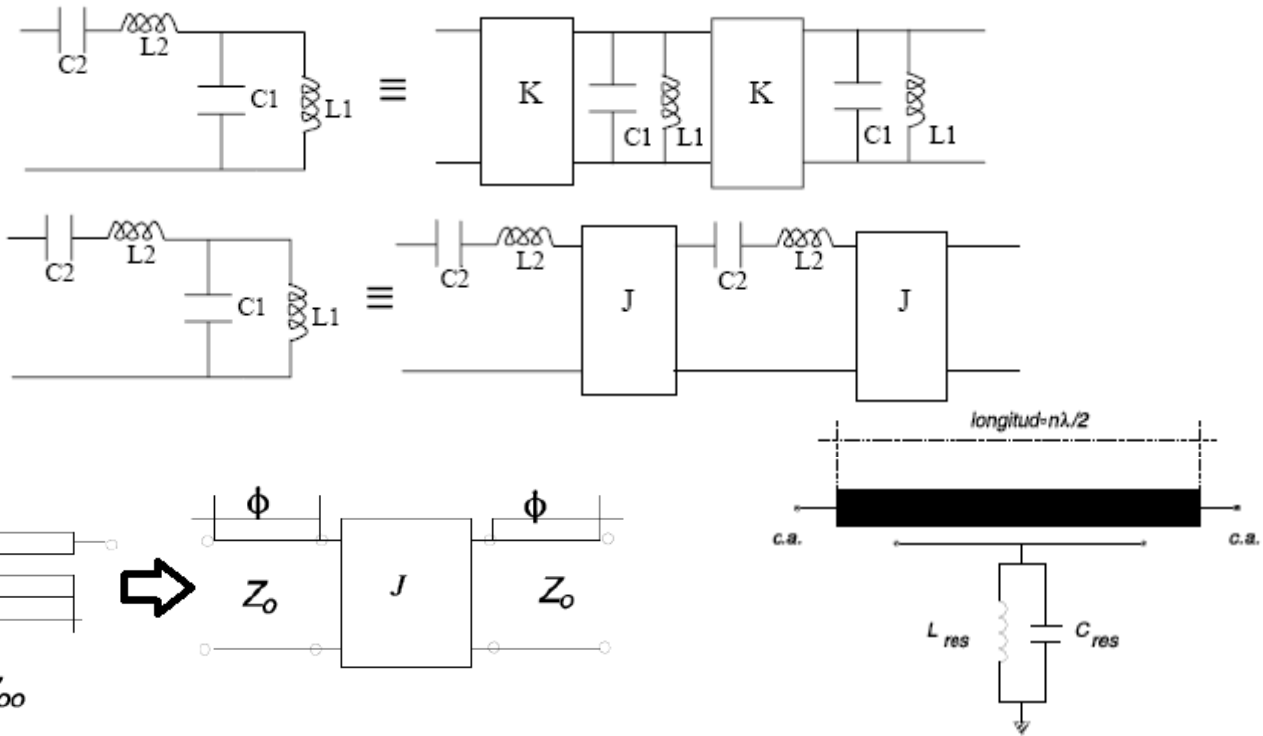
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



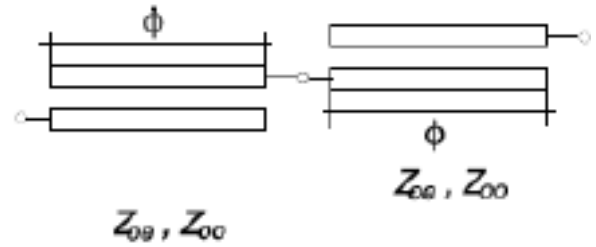
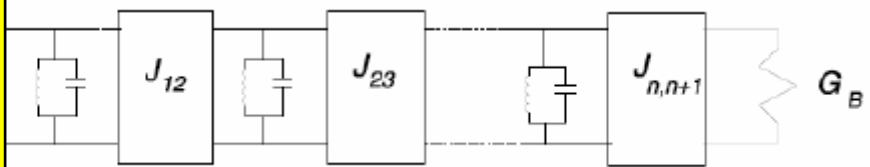
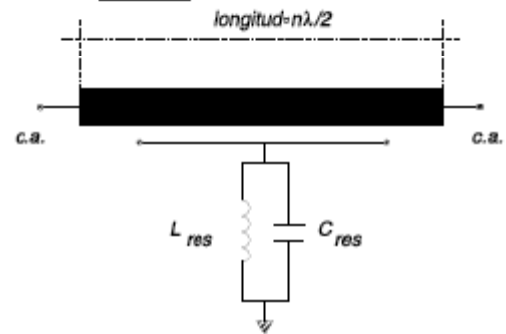
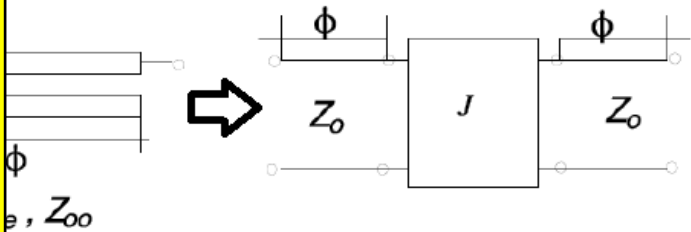
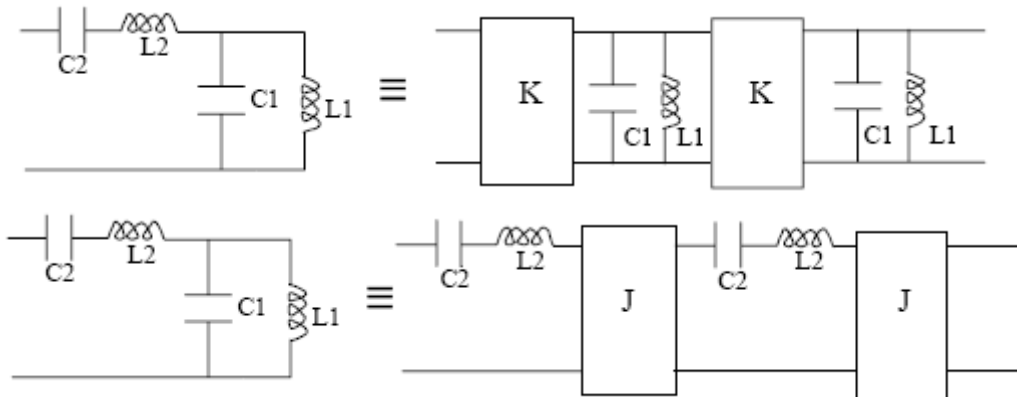
FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

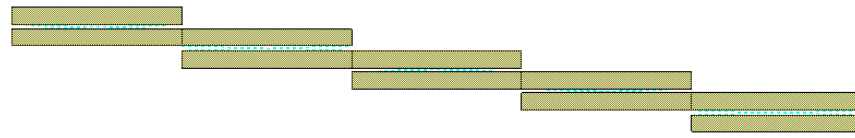


FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ECUACIONES DE DISEÑO

Para un orden N necesitamos N+1 líneas acopladas

$$.N \left\{ \begin{array}{l} J_1 \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_1}} \\ J_n \cdot Z_0 = \frac{\pi \cdot \Delta}{2\sqrt{g_{n-1} \cdot g_n}} \\ J_{N+1} \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_N \cdot g_{N+1}}} \end{array} \right.$$

¿Orden del filtro?



$$Z_{oe} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 + JZ_0 \right]$$

$$Z_{oo} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 - JZ_0 \right]$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

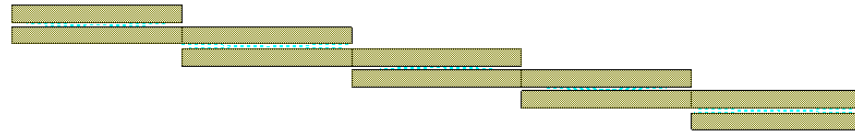
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ECUACIONES DE DISEÑO

Para un orden N necesitamos N+1 líneas acopladas

$$.N \left\{ \begin{array}{l} J_1 \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_1}} \\ J_n \cdot Z_0 = \frac{\pi \cdot \Delta}{2\sqrt{g_{n-1} \cdot g_n}} \\ J_{N+1} \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_N \cdot g_{N+1}}} \end{array} \right.$$

¿Orden del filtro?



5 líneas acopladas → N=4

N=4 → 4 resonadores $\lambda/2$

$$Z_{oe} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 + JZ_0 \right]$$

$$Z_{oo} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 - JZ_0 \right]$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): EJERCICIO

- Filtro Paso Banda (líneas acopladas)
- Banda de paso de 3GHz a 3.5GHz
- Impedancia de carga $R_0=50 \Omega$
- Butterworth
- Orden $N=3$
- ¿Atenuación a 2.9GHz?

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

BIBLIOGRAFÍA

Wei, L. Young, E.M.T. Jones: Microwave Filters, Impedance Matching and coupling structures. Artech House, 1980.

Arbe: Microwave Transmission Line Filters, Artech House, 1979

rowave Engineering, segunda edición (capítulo 8)

ndations for Microwave Engineering (capítulo 8)

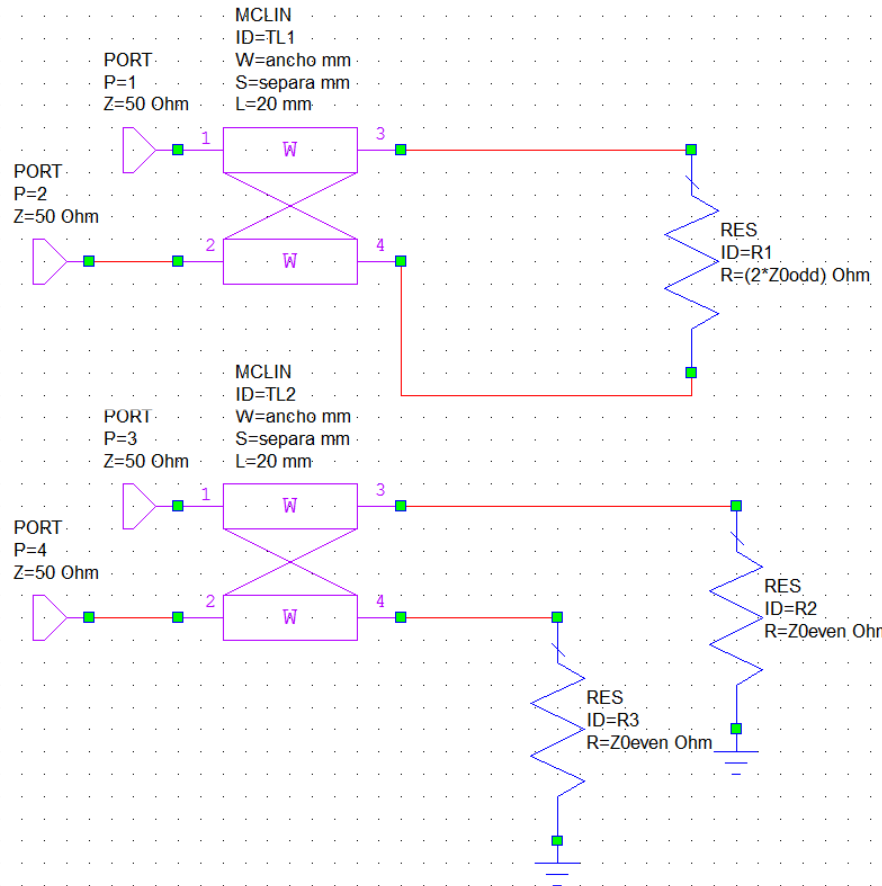
ncaster: Microstrip Filtres for RF and Microwave Applications

--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



MÓDULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR



Z0even=80.18
 Z0odd=31.18
 ancho=0.6841
 separa=0.1704

MCLIN ID=TL1
 W=ancho mm
 S=separa mm
 L=20 mm

PORT P=1
 Z=50 Ohm

PORT P=2

Edit Equation

Variable Name: separa = Variable Value: 0.170446006346111

Variable Type: Variable definition, Parameter definition, Display value

Parameter Description: Description:

Unit Type: Scalar, Data Type: Real

Tuning/Optimization Mode: Tune, Optimize, Constrain

Upper bound: 2, Lower bound: 0.1

Statistics Mode: Use statistics, Optimize yield

Distribution: Uniform, Normal

Variation: In percent, S.D.: 0

Buttons: OK, Cancel, Help

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

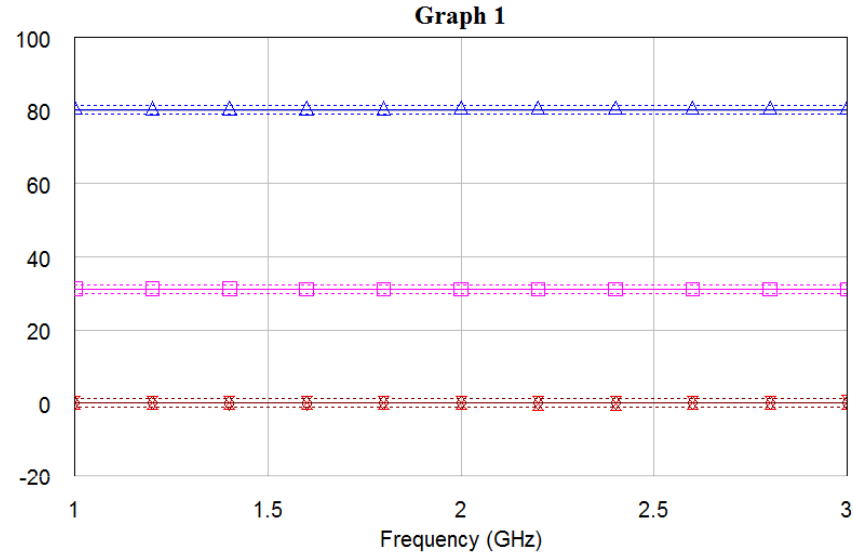
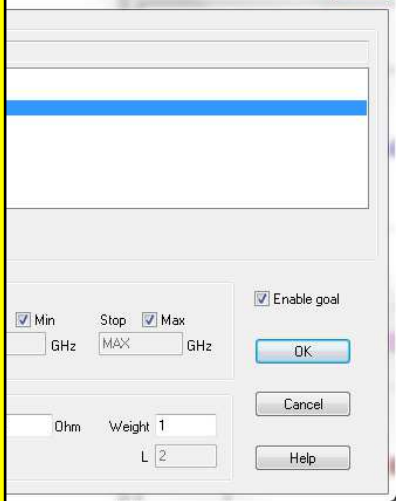
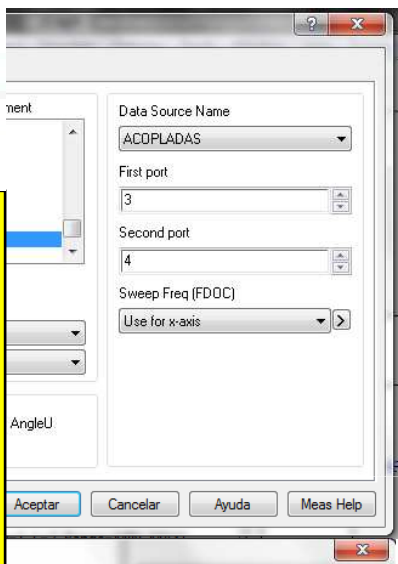


www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

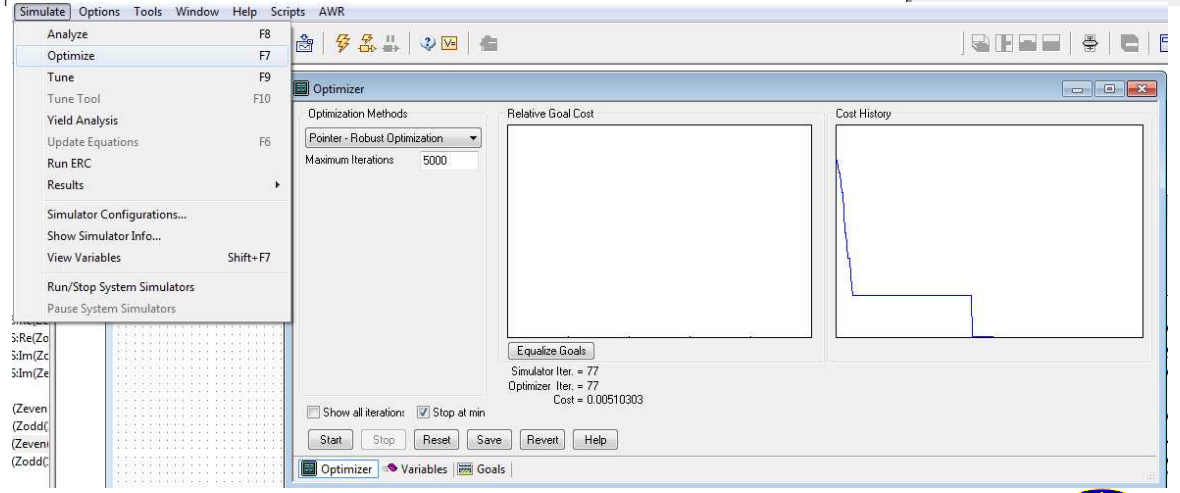
MÓDULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



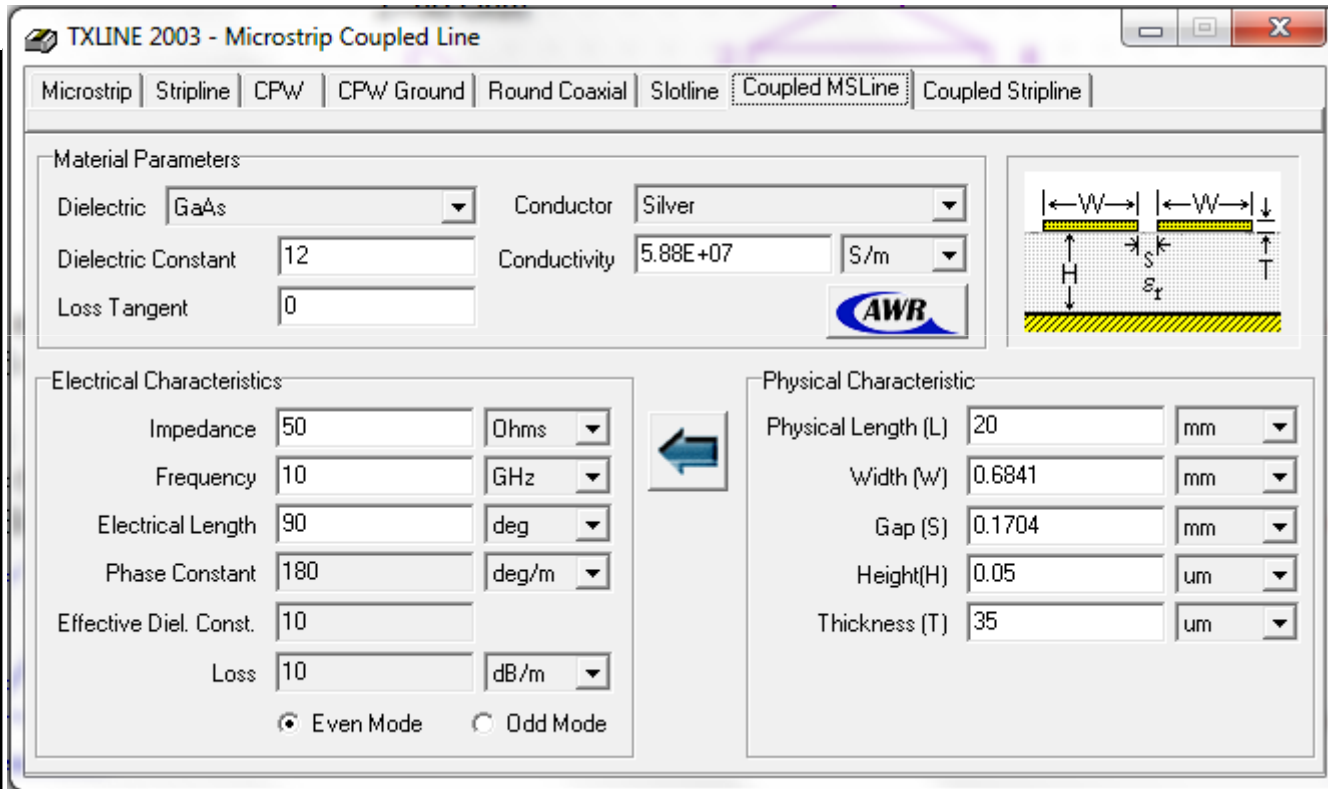
▲	$\text{Re}(Z_{\text{even}}(3,4))$ (Ohm)	ACOPLADAS
◻	$\text{Re}(Z_{\text{odd}}(1,2))$ (Ohm)	ACOPLADAS
◇	$\text{Im}(Z_{\text{odd}}(1,2))$ (Ohm)	ACOPLADAS
⊠	$\text{Im}(Z_{\text{even}}(3,4))$ (Ohm)	ACOPLADAS



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

MÓDULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR

Cartagena99



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

